

STUDI INTERKONEKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA 1 X 9,9 MW DI DELI SERDANG

A STUDY OF BIOMASS POWER PLANT INTERCONNECTION 1 X 9.9 MW IN DELI SERDANG

Adri Senen*¹, Titi Ratnasari

¹Jurusan Teknik Elektro STT – PLN

*Corresponding author

Email: ad_senen@yahoo.com

Abstrak. Energi listrik menjadi suatu kebutuhan dalam era modern ini. Pertumbuhan ekonomi dan perkembangan zaman mengakibatkan kebutuhan energi listrik semakin naik tiap tahun. Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa 1x9,9 MW di Deli Serdang merupakan pembangkit yang di proyeksikan akan beroperasi tahun 2019. PLTBm Deli Serdang ini akan di interkoneksi dengan sistem 20 kV eksisting dengan opsi titik sambung. Pemilihan opsi ini penting karena untuk memastikan sistem eksisting masih tetap dalam kondisi normal. Hasil penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi penyambungan PLTBm dengan ke GI terdekat. Penghantar yang digunakan dalam penyambungan ialah AAAC 240 mm² dengan konfigurasi jaringan dua sirkuit. Studi yang dilakukan meliputi aliran daya, jatuh tegangan, losses dan hubung singkat. Dengan dilakukannya studi tersebut dapat dilihat status operasi sistem sebelum dan sesudah interkoneksi. Status operasi sistem ini meliputi keadaan tegangan dan hubung singkat normal, marginal dan kritis.

Kata kunci: interkoneksi, PLTBm, penghantar

Abstract. Electrical energy becomes a necessity in this modern era. Economic growth and globalization has increasingly rising electricity needs each year. The 1x9.9 MW Biomass Power Plant in Deli Serdang is planned to be operational in 2019. PLTBm Deli Serdang will be interconnected with the existing 20 kV system with several connecting point options. Selection of this option is important because to make sure that the existing system still in normal condition. The result is connecting PLTBm to a nearest substation. The conductor used in connection is AAAC 240 mm² with two circuit configurations. The study was conducted on load flow, voltage drops, losses, and short circuit. Doing the study can be seen the status of system operation before and after interconnection. The operating status of this system includes normal, marginal, and critical

Keywords: interconnection, PLTBm, conductor

Pendahuluan

Energi listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan di era modern saat ini. Permintaan akan energi listrik meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, pertumbuhan jumlah penduduk, bisnis dan industri. Pembangkit-pembangkit listrik baru sangat diperlukan untuk mengimbangi permintaan listrik yang tinggi. Pembangkit listrik harus disesuaikan dengan kondisi daerah masing-masing. Saat ini pembangkit yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah PLTA, PLTU dan PLTD. Untuk

mengatasi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat, maka pemerintah membuka kesempatan kepada semua pihak untuk berpartisipasi dalam pembangunan sektor ketenagalistrikan [1].

Dalam peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik dijelaskan bahwa pemerintah melaksanakan percepatan pencapaian tingkat pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) dalam bauran energi untuk penyediaan tenaga listrik dengan mendorong pemanfaatan energi air, biomassa, surya dan angin menjadi tenaga listrik. Energi listrik yang dibangkitkan baik oleh PLN maupun *Independent Power Producer* (IPP) diupayakan akan terintegrasi dalam satu jaringan transmisi dan distribusi sebelum akhirnya energi tersebut sampai ke konsumen [2].

Pembangkit listrik yang dibangun di daerah Deli Serdang adalah Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) dengan kapasitas 1 x 9,9 MW yang direncanakan beroperasi tahun 2019. PLTBm merupakan pembangkit yang menghasilkan listrik dan panas dengan membakar biomassa dalam boiler. Potensi biomassa di Kabupaten Deli Serdang berasal dari limbah kayu industri furnitur dan pohon karet tua. Pembangkit ini akan mendukung penyediaan energi listrik di Provinsi Sumatera Utara.

PLTBm Deli Serdang ini akan terhubung ke sistem 20 kV PLN. Dalam melakukan interkoneksi tentu ada beberapa opsi titik penyambungan. Tiap-tiap opsi perlu dikaji agar diketahui opsi mana yang paling layak dan dampak yang ditimbulkan sebelum dan sesudah dilakukan penyambungan. Interkoneksi dikatakan layak apabila besarnya arus hubung singkat tidak melebihi nilai ketahanan arus hubung singkat peralatan yang biasanya dikisaran 25 kA, losses kecil dan jatuh tegangan + 5-10% berdasarkan Keputusan Direksi PLN No.0357.K.DIR/2014. Studi interkoneksi ini dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan profil aliran daya dari penyambungan dan menentukan desain penyambungan yang akan dilakukan.

Berdasarkan hal tersebut nantinya akan bisa diketahui kondisi sistem jaringan yang meliputi profil tegangan sistem, rugi-rugi daya dan hubung singkat. Hasil penelitian juga akan memperlihatkan kondisi sebelum dan sesudah interkoneksi pada titik sambung serta menentukan titik penyambungan yang paling baik dan memenuhi kelayakan interkoneksi.

Metode Penelitian

Pada sistem distribusi seringkali terjadi beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya (sistem distribusi merupakan sistem tiga fasa) atau terjadi kelebihan beban

karena pemakaian alat-alat elektronik dari konsumen energi listrik. Keadaan tersebut jika dibiarkan terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan [3]. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yang mengurangi pembebanan yang tidak seimbang (*unbalanced loading*) pada fasa dan kelebihan beban (*over loading*) pada jaringan distribusi listrik. Selain itu, sistem distribusi radial juga mempunyai rugi-rugi daya yang cukup besar sehingga menyebabkan keandalan sistem menjadi berkurang [4].

Studi Literatur

Studi literatur merupakan salah satu metode penelitian yang mempelajari dan menelusuri sumber bertulisan. Dalam penelitian Studi Interkoneksi PLTBm Deli Serdang menggunakan beberapa literatur sebagai standar referensi untuk melakukan simulasi penyambungan. Literatur yang penulis pakai sebagai berikut :

1. Keputusan Direksi PLN No.0357.K/DIR/2014 tanggal 22 Juli 2014 Perihal Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi PLN
2. SPLN 64 tahun 1985 tabel VIII tentang KHA Penghantar AAC dan AAAC
3. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Tahun 2018-2027
4. Buku bacaan lainnya mengenai teori pendukung dalam penelitian ini

Pengumpulan Data

Studi Interkoneksi PLTBm Deli Serdang memerlukan beberapa data yaitu :

1. Data pembangkit PLTBm Deli Serdang diperoleh dari studi kelayakan pembangkit
2. Data *eksisting* sistem distribusi dan beban PLN Area Medan Timur diperoleh melalui informasi resmi PT.PLN (Persero) wilayah Sumatera Utara.
3. Data rencana titik penyambungan PLTBm Deli sedang diperoleh melalui informasi resmi PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara.

Membuat Desain Konfigurasi Jaringan

Sebelum melakukan proses studi penulisan, penulis akan menentukan terlebih dahulu jenis penghantar dan diameter penghantar yang akan digunakan dalam proses studi penyambungan. Kemudian menentukan konfigurasi jaringan yang akan digunakan. Dalam menentukan penghantar dan desain konfigurasi jaringan berpedoman pada literatur.

Simulasi Penyambungan dengan Program Komputer

Setelah proses pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah proses simulasi komputer untuk mengidentifikasi kondisi sistem distribusi *eksisting* dan dampak yang

ditimbulkan setelah dilakukan penyambungan pada tiap-tiap opsi. Langkah simulasi penyambungan sebagai berikut :

1. Penggambaran *single line diagram* dengan menggunakan ETAP 12.6
2. Memasukkan input *rating* peralatan yang ada pada *single line diagram* seperti *rating* trafo, generator, jenis penghantar dan bus.
2. Pembebanan jaringan sesuai data proyeksi beban pada tahun operasi pembangkit
3. Penyambungan PLTBm Deli Sedang
4. Proses simulasi yang dilakukan sebagai berikut :
 - a. Analisa aliran daya
 - b. Analisa hubung singkat
 - c. Analisa jatuh tegangan
 - d. *Losses*

Proses simulasi dilakukan pada tiap-tiap opsi dan dalam dua kondisi yaitu sebelum dan sesudah penyambungan. Hal ini bertujuan untuk melihat perubahan profil aliran daya dan *short circuit* yang terjadi ketika PLTBm Deli Serdang masuk ke sistem *eksisting* 20 kV.

Hasil dan Pembahasan

Proyeksi Kebutuhan Beban

Kebutuhan beban dari suatu daerah harus diperkirakan terlebih dahulu untuk memastikan daya dari pembangkit yang akan dibangun dapat diserap secara optimal. PLTBm Deli Serdang direncanakan akan beroperasi tahun 2019 dan akan terhubung ke sistem 20 kV. Untuk itu perlu dilakukan *forecast* beban puncak untuk mengetahui kebutuhan beban pada tahun 2019. PLTBm Deli Serdang akan terhubung ke trafo daya 1 GI KIM atau salah satu titik penyulang KI.11 sehingga perlu dilakukan peramalan beban pada masing masing titik sambung. Pertumbuhan beban mengacu pada RUPTL 2018-2027 pada wilayah Provinsi Sumatera Utara sebesar 7,75%. Maka beban pada tiap tiap penyulang gardu induk KIM pada trafo 1 akan dinaikkan sebesar 7,75 % per tahun hingga tahun 2019. Berikut proyeksi beban salah satu penyulang trafo I yaitu KI.10.

$$S_{\text{penyulang KI.10 2017}} = 8 \text{ MVA}$$

$$S_{\text{penyulang KI.10 2018}} = 8 \text{ MVA} + (8 \text{ MVA} \times 7,75\%) = 8,62 \text{ MVA}$$

$$S_{\text{penyulang KI.10 2019}} = 8,62 \text{ MVA} + (8,62 \text{ MVA} \times 7,75\%) = 9,28 \text{ MVA}$$

Dengan cara diatas maka seluruh beban pada trafo 1 pada tahun 2019 dapat diperkirakan. Berikut proyeksi kebutuhan beban pada tiap tiap penyulang pada tahun 2019 pada Tabel 1.

Tabel 1. Proyeksi kebutuhan beban tahun 2019

Nama Penyulang	Beban (MVA)		
	2017	2018	2019
KI.11	9,2 MVA	9,9 MVA	10,6 MVA
KI.10	8 MVA	8,62 MVA	9,28 MVA
KI.5	5,75 MVA	6,2 MVA	6,67 MVA
KI.6	7 MVA	7,5 MVA	8,12 MVA
KI.7	7,9 MVA	8,51 MVA	9,17 MVA
KI.8	8 MVA	8,62 MVA	9,28 MVA

Pemilihan Jenis Penghantar dan Konfigurasi Jaringan

Dalam melakukan simulasi penyambungan, perlu dilakukan pemilihan jenis penghantar yang mempunyai kuat hantar arus (KHA) yang mampu menampung arus dari pembangkit PLTBm Deli Serdang. Pada umumnya di jaringan 20 kV di Indonesia menggunakan jenis penghantar AAAC. PLTBm Deli Serdang dengan kapasitas 9,9 MW maka kuat arus dari pembangkit dapat dihitung dengan cara sebagai berikut [5] :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

$$I = \frac{9900 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 0,85} = 336,22 \text{ A}$$

Karena ada faktor *derating* yang mengakibatkan penurunan nilai kuat hantar arus pada penghantar maka penghantar yang dipilih harus memiliki nilai KHA yang jauh lebih besar dari 336,22 A. Biasanya untuk mengetahui berapa besar *rating* dari penghantar maka dibagi 0,6.

$$I_{\text{pembangkit}} = 336,22 \text{ A}$$

$$\text{KHA Penghantar} = \frac{336,22}{0,6} = 560,36 \text{ A}$$

Dengan nilai KHA 560,36 A maka penghantar yang dipilih ialah AAAC dengan luas penampang 240 mm². Dipilihnya penghantar AAAC karena pada umumnya penghantar jenis tersebut digunakan PLN pada sistem 20 kV. Untuk mengetahui daya maksimal yang mampu dialirkan penghantar ini maka harus memperhatikan faktor *derating* yang terjadi yang besarnya bisa mencapai 15 % [6].

$$\text{Nilai KHA } 240 \text{ mm}^2 = 585 \text{ A}$$

$$\text{Derating faktor} = (100\% - 15\%) \times 585 = 497,25 \text{ A}$$

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (2)$$

$$S = 20 \text{ kV} \times 497,25 \times \sqrt{3} = 17,22 \text{ MVA}$$

Dengan $\cos\phi = 0,85$ maka daya yang mampu dialirkan penghantar adalah sebagai berikut :

$$\text{Daya yang mampu ditampung} = S \times \cos\phi \quad (3)$$

$$\text{Daya yang mampu ditampung} = 17,22 \text{ MVA} \times 0,85 = 14,6 \text{ MW}$$

Untuk pemilihan konfigurasi jaringan sesuai syarat N-1 yaitu saat terjadi gangguan pada jaringan maka ada cadangan jaringan yang mampu mentransfer semua daya dari pembangkit. Maka SUTM yang akan dibuat dalam penyambungan ini memiliki konfigurasi dua sirkuit.

Kondisi Sistem Distribusi Sebelum Penyambungan

Data kondisi sistem distribusi sebelum penyambungan yang terdiri dari data bus (lihat tabel 2) dan data data trafo sistem 20 kV GI KIM dan penyulang KI.11 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Data bus

Bus Information		Tegangan	Tegangan	Load	Kondisi
ID	Type	kV	%	MVA	
BUS MV GI KIM	Load	19,61	98,1	50,146	Normal
DS 01	Load	18,97	94,85	0,205	Kritis
Bus Palu Merbo	Load	18,93	94,68	0,211	Kritis

Tabel 3. Data trafo sistem 20 kV GI KIM dan penyulang KI.11

ID	Kapasitas (MVA)	Primary kV	Sec kV	% Z1	X1/R1
ML-3	0,100	20	0,400	4,00	1,50
ML-34	0,160	20	0,400	4,00	1,50
ML-36	0,200	20	0,400	4,00	1,50
ML-329	0,630	20	0,400	4,00	1,50
T-air limbah	0,356	20	0,400	4,00	1,50
T-Ps Laguna II	0,710	20	0,400	5,00	3,50
Trafo GI KIM	60	150	20	12,50	45

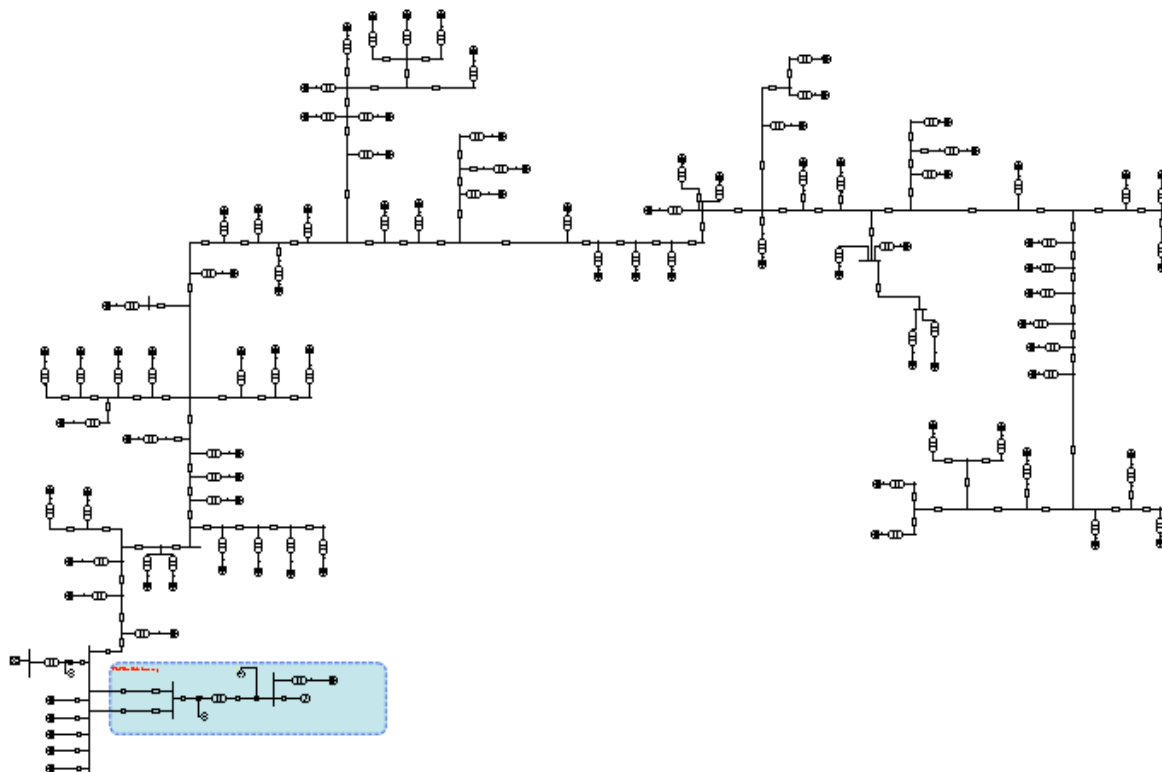
Beberapa trafo mengalami kondisi kritis akibat terjadi kenaikan beban, berikut trafo yang mengalami kondisi kritis akibat kenaikan beban pada tahun 2019 seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data trafo yang mengalami kritis

ID	Kapasitas (MVA)	Pembebanan (MVA)	Presentase %
ML-36	0,2	0,206	103,1
ML-38	0,16	0,174	108,1
ML-91	0,16	0,173	108,3
ML-230	0,2	0,284	142
ML-331	0,1	0,12	113,8
ML-586	0,1	0,113	112,6
ML-782	0,1	0,113	112,6
MT-310	0,1	0,112	112,1

MT-312	0,1	0,106	105,8
--------	-----	-------	-------

Rencana Titik Penyambungan PLTBm Deli Serdang



Gambar 1. Topologi jaringan

Rencana penyambungan PLTBm Deli Serdang dengan sistem 20 kV ada dua opsi. Opsi titik sambung berada pada GI KIM trafo 1 yang merupakan GI terdekat dari lokasi pembangkit. Rencana titik penyambungan dapat dilihat pada Tabel 5.

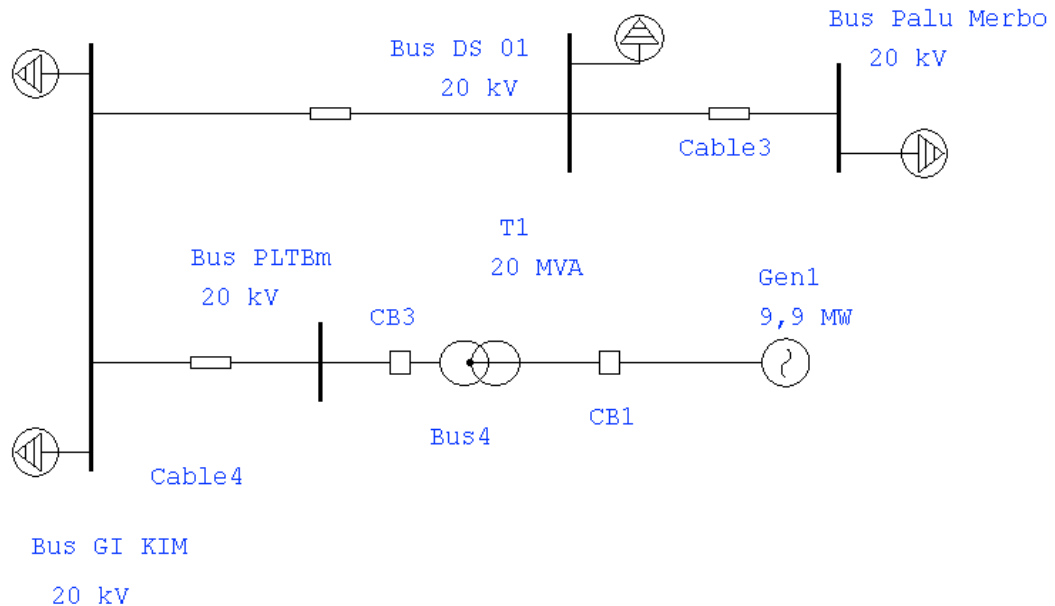
Tabel 5. Rencana titik penyambungan

No	Opsi-1 (GI KIM)	
1	Titik sambung	GI KIM
2	Jenis penghantar	Pembangunan SUTM 20 kV baru
3	Rencana diameter penghantar	3 x 240 mm ²
4	Tegangan <i>eksisting</i>	20 kV
5	Alamat titik sambung	Daerah Mabar, Medan
6	Koordinat titik sambung	3°40'16.41" LU, 98°40'46.85" BT
7	Jarak dari pembangkit	9 km
8	Rekomendasi	Membangun jaringan SUTM 20 kV baru sepanjang 9 km dari lokasi PLTBm ke GI KIM

Hasil Simulasi Aliran Daya

Berikut hasil simulasi analisa aliran daya dengan kondisi simulasi Waktu Beban Puncak (WBP), kapasitas pembangkit 1x9,9 MW dan pf = 0,85. Pada simulasi ada tiga

bus yang akan diperhatikan yaitu bus GI.KIM sebagai titik sambung. Sistem jaringan 20 kV yang disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem jaringan 20 kV yang disederhanakan

Hasil simulasi juga memperlihatkan profil tegangan busbar seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6. Setelah dilakukan penyambungan ternyata kondisi tegangan yang sebelumnya kritis menjadi marginal. Setiap saluran dalam jaringan distribusi memiliki nilai impedansi yang dapat mempengaruhi adanya rugi-rugi daya dan drop tegangan [7]. Di sisi lain, terjadi kenaikan rugi-rugi jaringan namun relatif kecil dan masih dalam batas toleransi seperti ditunjukkan Tabel 7. Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan yakni mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*) dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*) [8].

Tabel 6. Kondisi tegangan busbar

Kondisi tegangan busbar						
Nama Bus	Kondisi sebelum penyambungan			Opsi 1 (penyambungan ke GI KIM)		
	kV	%	Kondisi	kV	%	Kondisi
GI.KIM	19,619	98,1	Normal	19,768	98,84	Normal
DS-01	18,97	94,85	Kritis	19,123	95,61	Marginal
Bus Palu Merbo	18,93	94,68	Kritis	19,088	95,44	Marginal

Tabel 7. Rugi-rugi daya

Rugi –rugi daya				
Dari-ke Saluran	Kondisi sebelum penyambungan		Opsi 1 (penyambungan ke GI KIM)	
	Kw	kVAR	kW	kVAR
PLTBm - GI KIM	-	-	160	232,4

PLTBm – DS 01	-	-	-	-
Total Losses Jaringan	415	6414	569,8	5241
% Losses dibandingkan daya yang diserap	0,98 %		1,27 %	

Penyerapan daya keseluruhan di jaringan seperti terlihat pada Tabel 8, menunjukkan adanya kenaikan walaupun relatif lebih kecil. Hal ini dikarenakan lokasi penyambungan berjarak cukup jauh dari GI KIM.

Tabel 8. Daya yang diserap

Dari-ke	Daya yang diserap			
	Kondisi sebelum penyambungan		Opsi 1 (penyambungan ke GI KIM)	
	kW	kVAR	kW	KVAR
PLTBm - GI KIM	-	-	9914	2262
PLTBm – DS 01	-	-	-	-
Total Daya yang diserap	42.650	32.859	44.916	32.455

Hasil Simulasi Hubung Singkat

Dari hasil simulasi, nilai arus hubung singkat naik jika dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan interkoneksi seperti diperlihatkan pada Tabel 9. Opsi penyambungan menghasilkan arus hubung singkat yang tidak melebihi standar batas maksimum peralatan *eksisting* pada sistem tersebut yaitu 25 kA.

Tabel 9. Hasil analisa kondisi penyambungan

Nama Bus	Arus hubung singkat				
	Kondisi opsi-1 penyambungan ke GI KIM				
	3 Phase (kA)	L-G (kA)	L-L (kA)	L-L-G (kA)	Kondisi (aman<25kA)
GI.KIM	14	14,11	12,16	14,53	Aman
DS-01	3,94	3,79	3,41	3,89	Aman
Bus Palu Merbo	2,98	2,89	2,58	2,96	Aman

Kesimpulan

Hasil simulai titik penyambungan PLTBm Deli Serdang yang di interkoneksi pada GI KIM trafo 1 yang merupakan GI terdekat dari lokasi pembangkit kondisi menunjukkan bahwa tegangan secara keseluruhan masih normal kecuali untuk bus bus DS 01 dan Palu Merbo dalam keadaan marginal

Desain penyambungan menggunakan penghantar jenis AAAC 240 mm² dengan konfigurasi dua sirkuit. Penghantar AAAC dipilih karena pada umumnya PLN menggunakan penghantar jenis ini pada sistem 20 kV. Masuknya PLTBm Deli Serdang ke sistem 20 kV membuat tegangan pada sistem menjadi lebih baik yaitu pada opsi-2 berkisar antara 19,1 kV sampai 19,78 kV.

Masuknya PLTBm Deli Serdang ke sistem membuat rugi-rugi daya meningkat yaitu sebelum penyambungan sebesar (415 kW + 6414 kVAR) dan sesudah

penyambungan opsi 2 (569,8 kW + 5241 kVAR). Masuknya PLTBm Deli Serdang ke sistem 20 kV membuat arus hubung singkat menjadi lebih tinggi yaitu sebelum penyambungan arus hubung singkat tertinggi yaitu 12,96 kA dan sesudah penyambungan yaitu 14,53 kA, namun masih dalam standar batas maksimum peralatan *eksisting* yaitu 25 kA.

Daftar Pustaka

- [1] PT. Brawisi Energy, “Study Interkoneksi ke Jaringan 20 kV PLN” www.brawisi-energy.com, 2016. [Online]. Tersedia : <http://www.brawisi-energy.com/services/study-interkoneksi-ke-jaringan-20-kv-pln>, [Akses : Des.10, 2018]
- [2] R. Gano dan Z. Pane, “Studi Aliran Daya pada Jaringan Distribusi 20 kV yang Terinterkoneksi dengan Distributed Generation (Studi Kasus: penyulang PM.6 GI Pematang Siantar)” *Singuda Ensikom, DTE FT USU*, vol. 11, no. 29, April, 2015.
- [3] S. Suropto, *Buku Ajar Dasar Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2016.
- [4] J. H. Teng. “A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems” dalam *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, vol. 24, no. 4, 2000. pp. 259-264.
- [5] S. Sudirham, *Analisis Sistem Tenaga*, Bandung : Darpublic, 2012.
- [6] A. Tanjung, Analisis Sistem Distribusi 20 kV untuk Memerbaiki Kinerja dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program dalam *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 4*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 3 Oktober 2012, 2012.
- [7] V. Farahani, B. Vahidi dan H. A. Abyaneh, “Reconfiguration and Capacitor Placement Simultaneously for Energy Loss Reduction Based on an Improved Reconfiguration Method ”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, pp. 587-595, 2012.
- [8] M. E. Baran, dan F. F. Wu, “Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing”, *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, 1989.